



WORKSHOP ON KIGALI AMENDMENT, ALTERNATIVE TECHNOLOGIESS, ENERGY EFFICIENCY IN COOLING SECTOR AND SAFETY STANDARDS

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

Application of CO₂ technology in fish industry in Croatia

Application of propane technology in dairy industry in B&H



Vladimir SOLDO

Sarajevo, 09. i 10. 07.2019.

SADRŽAJ

1. UVOD
 - F-gas regulativa
2. Primjena CO₂ tehnologije na primjeru tvornice ribe
3. Primjena R290 tehnologije u mljekarskoj industriji
4. Primjena R290 tehnologije za hlađenje u industriji vozila
5. Dizalice topline
6. Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u
7. Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO₂/R1234ze – Tehnički muzej Zagreb
8. ZAKLJUČAK

Implemented activities in B&H



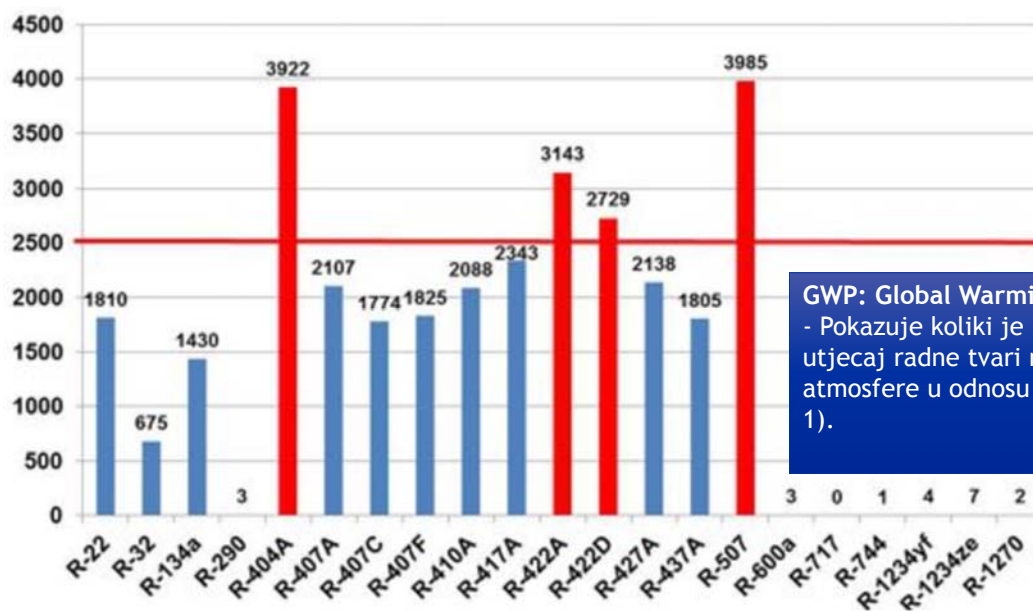
Training Trainers Programme MP/BiH/07/001-2012



CUSTOM EMPOWERMENT PROGRAM MP/BiH/04/123 - 2007

UVOD

F-gas regulativa



GWP: Global Warming Potential
- Pokazuje koliki je relativni utjecaj radne tvari na zagrijavanje atmosfere u odnosu na CO₂ (GWP = 1).

GWP broj radnih tvari

UVOD

Sigurnosna i ekološka svojstva radnih tvari

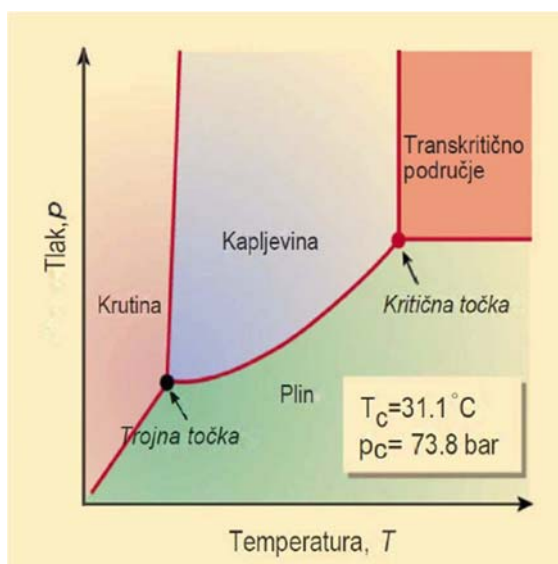
		TOKSIČNOST	
		Niska	Visoka
ZAPALJIVOST	Nezapaljiva	A1	B1
	Slabo zapaljiva	A2L	B2L
	Jako zapaljiva	A2	B2
		A3	B3

Stupanj štetnosti radnih tvari prema EN 378-1 i ISO 817 - Sigurnosni zahtjevi

Radna tvar	Skupina	ODP	GWP	Stupanj štetnosti
R 12	CFC ☹	1	8100	A1
R 22	HCFC ☹	0,055	1700	A1
R 134a	HFC ☺	0,0	1430	A1
R 507A	HFC ☹	0,0	3985	A1
R 404a	HFC ☹	0,0	3922	A1
R 407C	HFC ☺	0,0	1774	A1
R410A	HFC ☺	0,0	2088	A1
R407F	HFC ☺	0	1824	A1
R449A	HFC ☺	0	1397	A1
R32	HFC ☺	0	675	A2L
R1234yf/ze	HFO ☺	0	4-6	A2L
R 717	Anorganska ☺	0	0	B2L
R 744	CO ₂ ☺	0,0	1 (B)	A1
R 290	HC ☺	0	3	A3
R 600a	HC ☺	0	3	A3

Primjena CO2 tehnologije na primjeru tvornice ribe

- CO2 - ugljični dioksid prirodna radna tvar
- U rashladnoj tehnici koristi se od sredine 19. stoljeća
- Kemijski je stabilan, nije zapaljiv, nije toksičan
- Transkrična točka 31,1 °C, 74 bara
- Približno 5 do 8 puta veći volumetrički rashladni učinak u odnosu na R22 i NH₃
- Najviše se koristi za niskotemperaturne komore



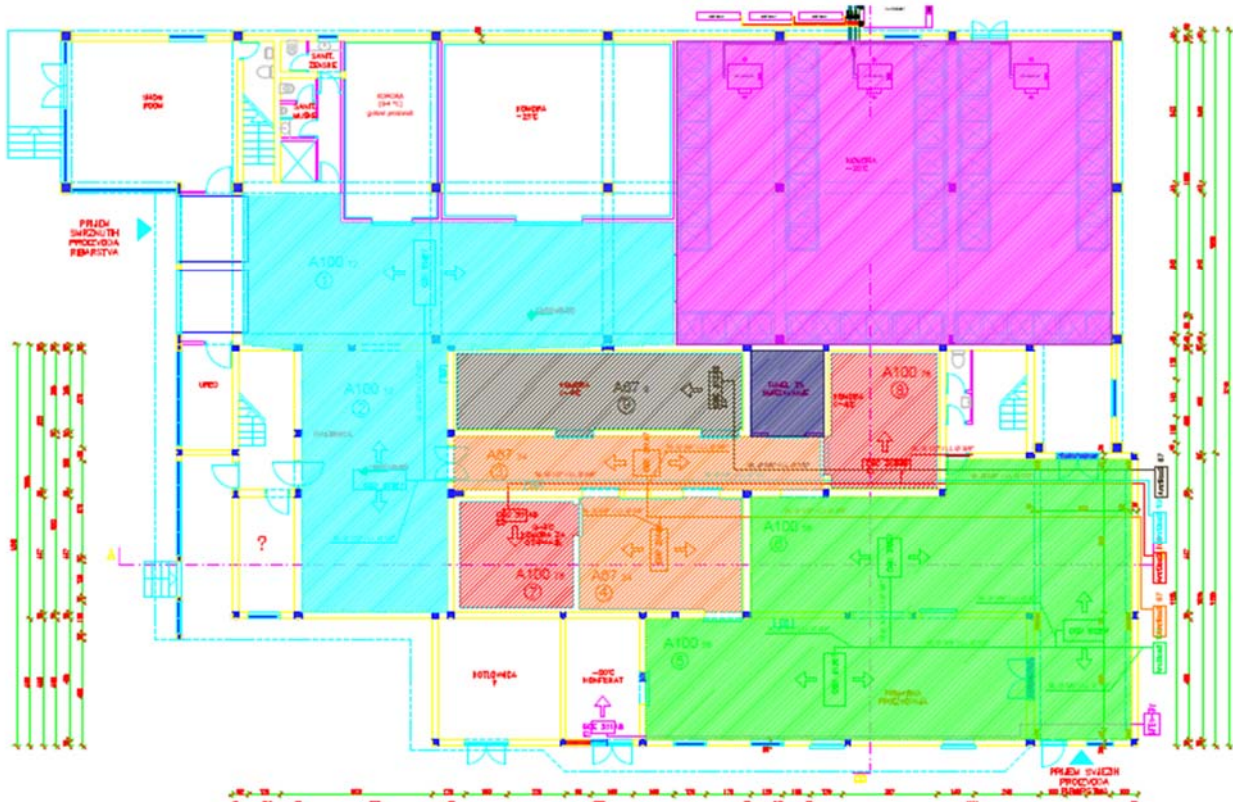
Primjena CO2 tehnologije na primjeru tvornice ribe

- Centaurus - tvrtka za preradu, veleprodaju i maloprodaju ribe, pogon za preradu ribe Centaurus, Split
- Tvrtka osnovana 2004. godine
- Preuređenje objekta u pogon za preradu ribe
- Tlocrtna površina hlađenih prostora 1200 m²

Namjena	Temperatura isparavanja	Rashladni kapacitet kW	Radna tvar
Komore i radni prostori	-10 do 0 °C	104	R744 – CO2
Tuneli za zamrzavanje ribe	- 40 °	13	R449A (GWP=1397)
Komore smrznutog programa	- 30 °	25	R449A (GWP=1397)

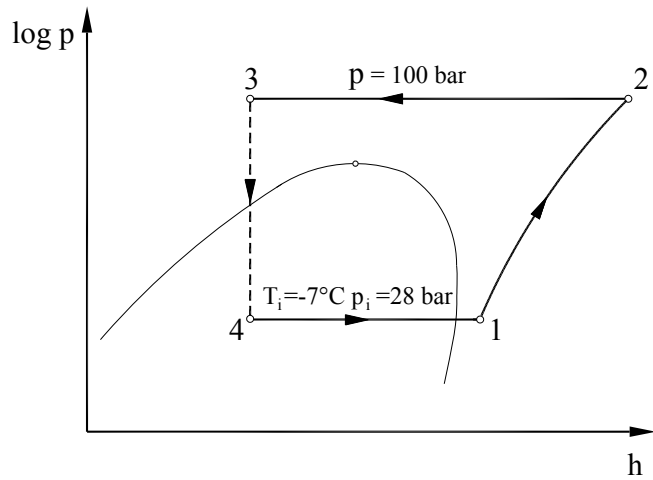
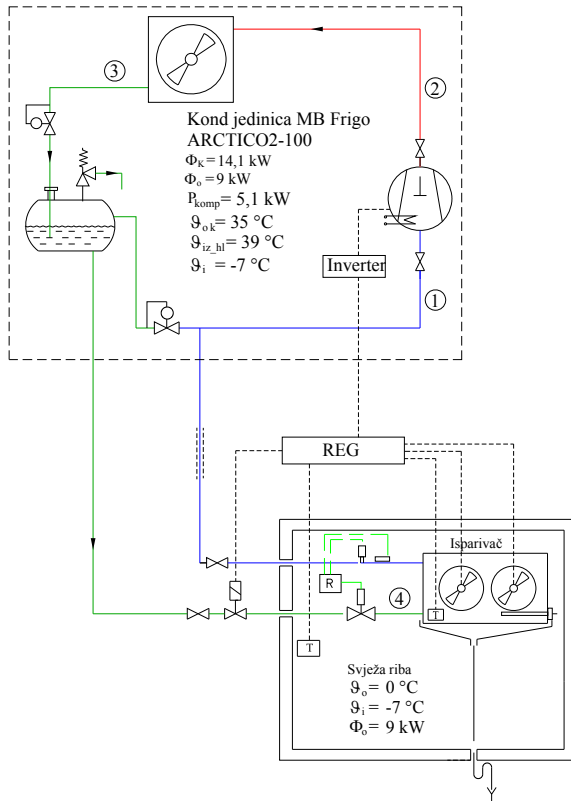
Primjena CO2 tehnologije na primjeru tvornice ribe

Raspored rashladnih komora



Primjena CO2 tehnologije na primjeru tvornice ribe

Kvalitativan prikaz procesa sa CO2



Primjena CO2 tehnologije na primjeru tvornice ribe

Kondenzacijske jedinice za CO2

MB FRIGO
GRUPA



- promjenjiv rashladni učinak: 25 do 100 %
- rad u transkritičnom i podkritičnom području
- kontinuirana regulacija izlazne temperature plina iz hladnjaka plina

Primjena R290 tehnologije u mljekarskoj industriji

➤ R290 - propan prirodna radna tvar

- Pripada u skupinu ugljikovodika HC (kemijska formula C_3H_8), ima dobra termofizikalna i ekološka svojstva.
- Zapaljiva radna tvar (sigurnosna grupa A3). Temperatura zapaljenja iznosi 470 °C, a zapaljiv je u koncentraciji u zraku u volumnom udjelu od 1,7 do 10,9 %.
- Ograničenja u punjenju rashladnih uređaja i dizalica topline s radnom tvari R290 razlikuju se prema više kategorija. Dozvoljena masa punjenja prema normi EN 378-1 iznosi 150 g za prostorije bilo kojeg volumena.

Termofizikalna i ostala svojstva radnih tvari

Svojstvo	R290	R22	R134a	R404a	R407C	R717
ODP	0	0,055	0	0	0	0
GWP ₁₀₀	3	1700	1430	3922	1774	0
Stupanj štetnosti	A3	A1	A1	A1	A1	B2L
Molekularna masa	44,1	86,47	102,03	97,6	86,2	17,03
Kritična temperatura, °C	96,7	96,2	101	72,14	86,05	135,25
Kritični tlak, bar	42,5	49,9	40,6	37,4	46,3	113,3
Temperatura vrenja (p _{atm}), °C	-42,4	-40,8	-26,1	-46,6	-43,8	-33,33
Tlak vrenja/rošenja (-15 °C), bar	2,92	2,96	1,64	3,72	3,39/2,64	2,36
Gustoća kapljevine (30 °C), kg/m ³	484,4	1171	1187	1021	1116	595,2
Gustoća pare (-15 °C), kg/m ³	6,5	12,9	8,29	18,57	11,48	1,97
Toplina isparavanja (-15 °C), kJ/kg	394,4	216,5	209,5	177,7	221,9	1312,8
Volumetrički rashladni učinak	1897,4	2178,8	1285,3	2250,7	1888,5	2214,3

Primjena R290 tehnologije u mljekarskoj industriji

➤ Rashladnik glikolne smjese („chiller”) s R290



- **Tvornica Inmer d.o.o. u Gradačcu (Lactalis BH)**
- Akumulacija vode za potrebe hlađenja mlijeka i jogurta
- Rashladni učinak 788 kW
- Temperaturni režim glikolne smjese -1/+4 °C
- Dva neovisna kruga, punjenje po krugu 25 kg R290

Primjena R290 tehnologije za hlađenje u industriji vozila

➤ Rashladnik glikolne smjese („chiller”) s R290



- **Daimler, Karlsruhe, testna stanica za ispitivanje kamiona**
- Rashladni učinak 5x672 kW (ukupno 3,36 MW)
- Temperaturni režim glikolne smjese 9/15 °C
- Četiri neovisna kruga, punjenje po krugu 8,4 kg R290

WORKSHOP ON KIGALI AMENDMENT, ALTERNATIVE TECHNOLOGIESS, ENERGY EFFICIENCY IN COOLING SECTOR AND SAFETY STANDARDS

Heat pumps for heating and cooling

- Pilot project of propane heat pump at Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb, Croatia
- Pilot project of cascade heat pump using CO₂/R1234ze at Technical Museum Zagreb

Sarajevo, 09. i 10. 07.2019.

UVOD – Dizalice topline

➤ Broj instaliranih dizalica topline u EU (21)

Godina	Nove dizalice topline	Ukupno
2005.	446 037	1 141 016
2006.	504 428	1 655 022
2007.	568 131	2 239 159
2008.	770 538	3 047 855
2009.	686 076	3 750 012
2010.	800 388	4 542 759
2011.	808 591	5 341 930
2012.	750 436	6 083 976
2013.	769 879	6 846 410
2014.	792 621	7 603 977
2015.	892 809	8 510 550
2016.	999 682	9 482 641
2017.	1 112 028	10 572 395

Izvor: EHPA Market Report 2018

UVOD – Zgrade gotovo nulte energije nZEB

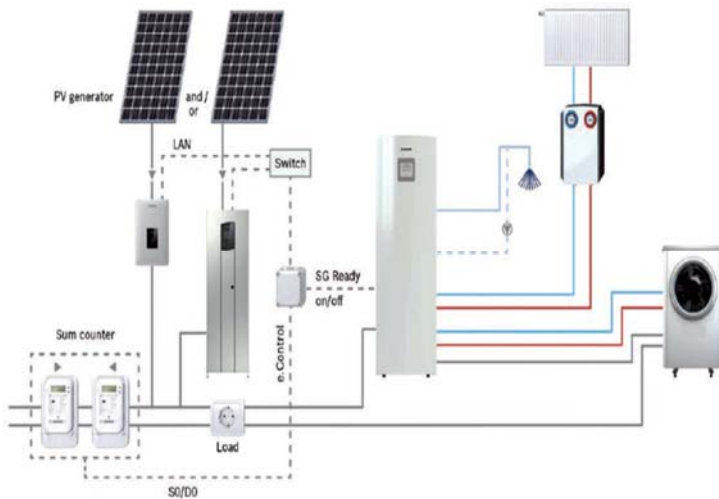
Zgrada gotovo nulte energije -nZEB (engl. nearly Zero Energy Building) jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta odnosno vrlo niska količina energije trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini, a za koju su zahtjevi utvrđeni ovim propisom.

Od 31. prosinca 2020. sve nove zgrade moraju biti »zgrade gotovo nulte energije«; a nakon 31. prosinca 2018. nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti moraju biti »zgrade gotovo nulte energije« (2010/31/EC).

ZAHTEJEVI ZA NOVE ZGRADNE i G0EZ	$Q_{H,nd}^*$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]			
	NOVA ZGRADA i G0EZ						NOVA		G0EZ	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont $\theta_m \leq 3$ °C	prim $\theta_{mm} > 3$ °C	kont $\theta_{mm} \leq 3$ °C	prim $\theta_{mm} > 3$ °C
VRSTA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$				
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN 70/18, NN128/15

UVOD – Zgrade gotovo nulte energije nZEB

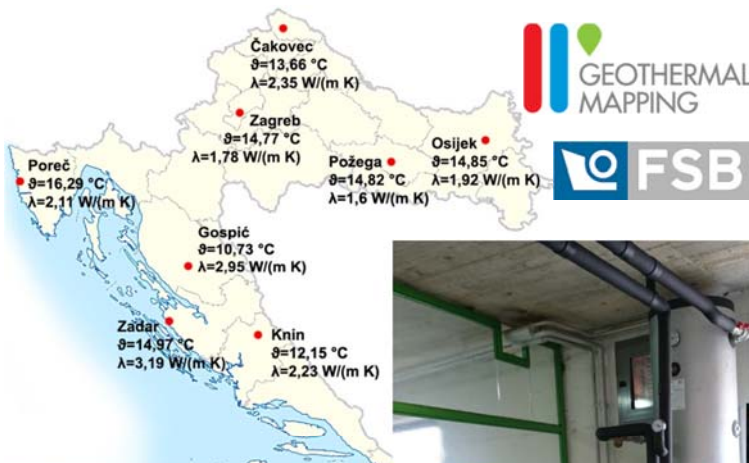


➤ „Zero-energy building” – visoka razina toplinske izolacije, visoka energetska učinkovitost, korištenje obnovljivih izvora energija, energetska neovisnost u smislu proizvodnje energije na samoj zgradi, min. potrošnja en i emisije → fotonaponske ćelije + dizalica topline (mali kapaciteti)

- Solarna elektrana 9,6 kWel
- Dizalica topline zrak voda $\Phi_{gr} = 5,6$ kW
- Korisna površina 146 m²
- God. proizvodnja el energije veća od potrošnje

Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u

➤ IPA projekt: GeothermalMapping



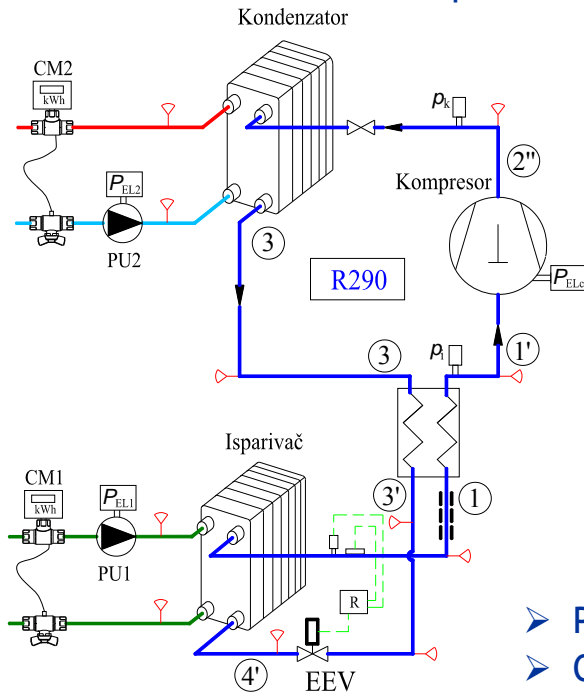
- Strojarstva tehnička škola Osijek
- Tehnička škola Požega
- Tehnička škola Čakovec
- Strukovna škola Gospić
- Tehnička škola Zadar
- Srednja strukovna škola Kralj Zvonimir Knin
- Institut za poljoprivredu i turizam Poreč
- Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb



Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u



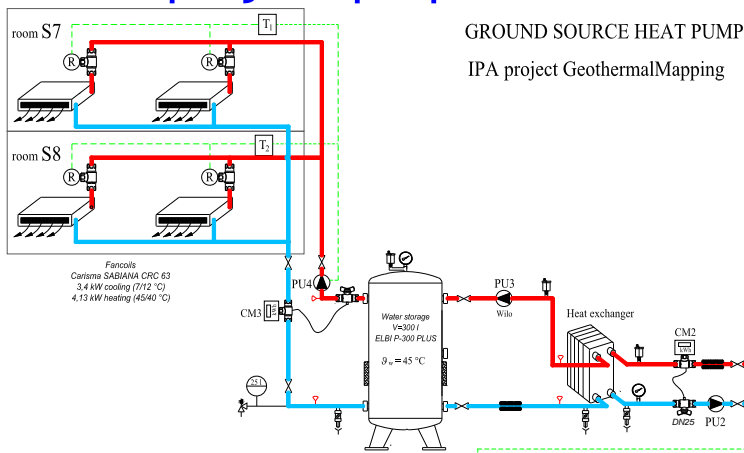
➤ Geotermalna dizalica topline na FSB-u



➤ Puštena u rad u siječnju 2016., grijanje i hlađenje učionica S7 i S8

- Propanska dizalica topline (Frigo Plus)
- Ogrjevni učin: 12,5 kW, $P_{el} = 3,1$ kW
- Reverzibilna na strani izvora/ponora topline - grijanje/hlađenje

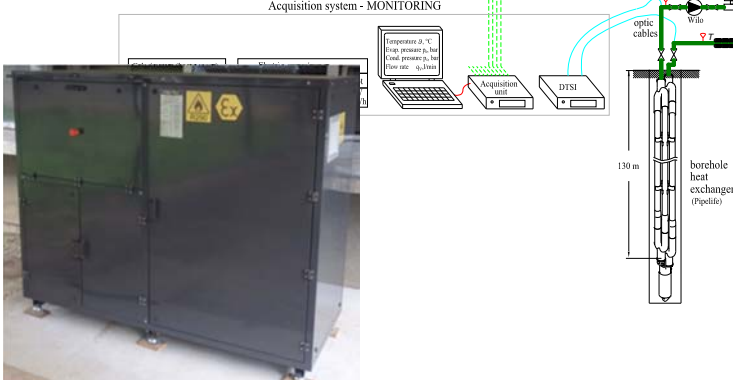
Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u



MEASUREMENT at FAMENA

- heating winter season: 11/18-04/19
- heating capacity: 13 kW
- temperature mode: 45/40 °C
- SCOP $\approx 3,4$
- ON/OFF operated compressor
- without heating of DHW

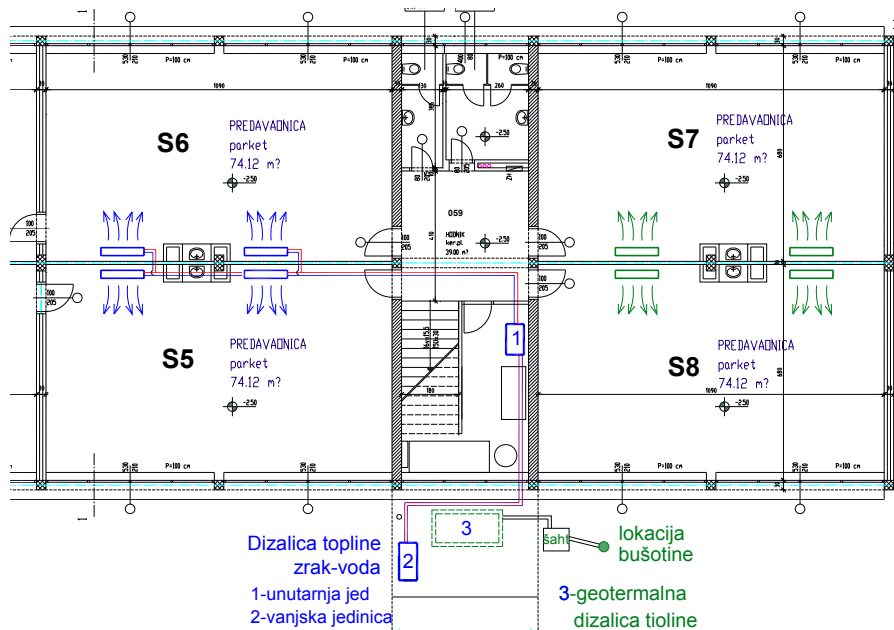
Ground source heat pumps



Prof.dr.sc. Vladimir Soldo, project leader
 Luka Boban, Ph.D. student
 Leon Lepoša, Ph.D. student
 Marko Mandić, B.Sc.
 FSB Zagreb, 16.12.2015.

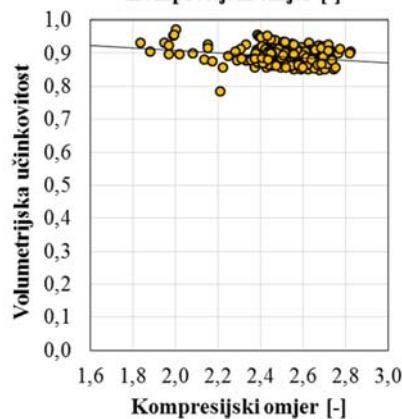
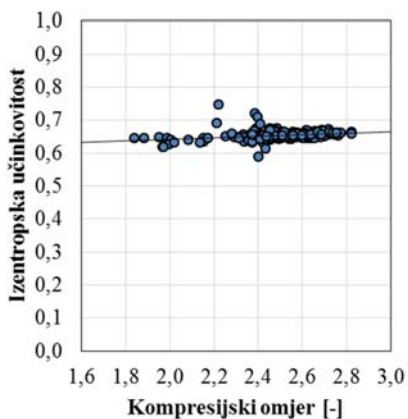
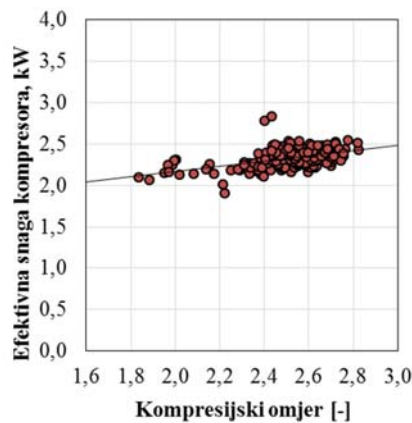
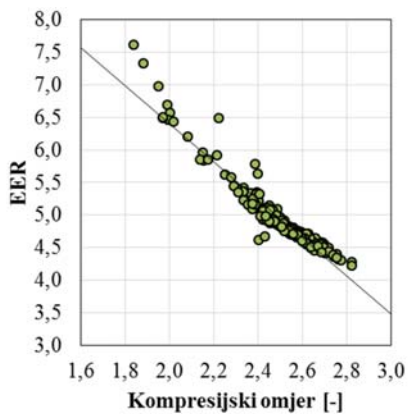
Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u

Dizalica topline koriste se za grijanje i hlađenje učionica S5, S6, S7 i S8

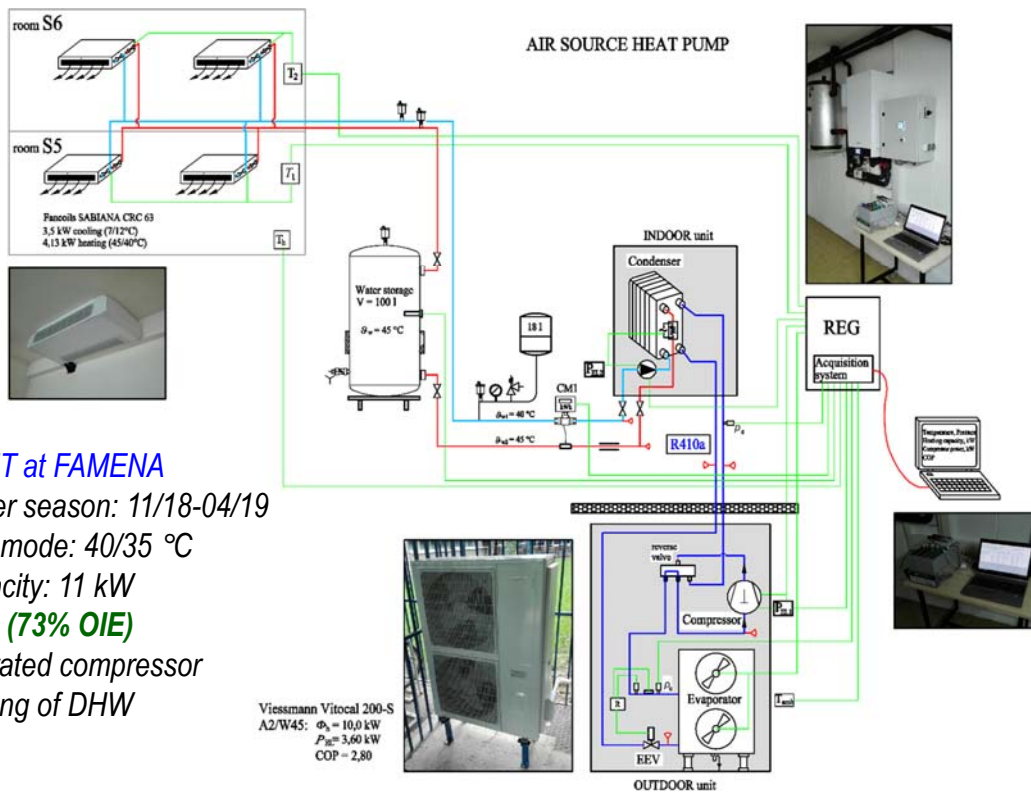


Mogućnost primjene obnovljivih izvora energije, Zagreb 2019.

Pilot projekt propanske dizalice topline na FSB-u



Pilot projekt dizalice topline zrak-voda na FSB-u



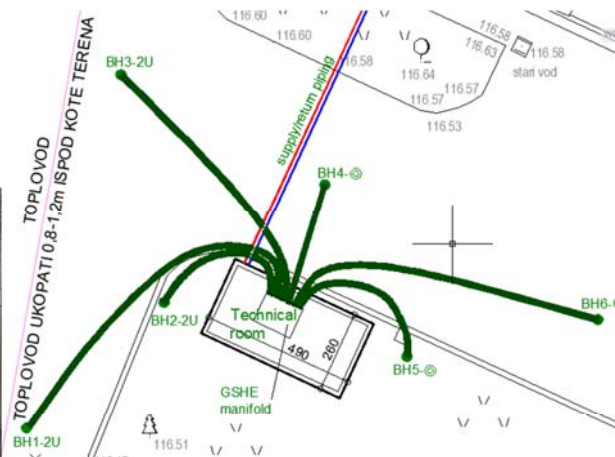
MEASUREMENT at FAMENA

- heating winter season: 11/18-04/19
- temperature mode: 40/35 °C
- heating capacity: 11 kW
- **SCOP = 3,7 (73% OIE)**
- inverter operated compressor
- without heating of DHW

Mogućnost primjene obnovljivih izvora energije, Zagreb 2019.

Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO₂/R1234ze - Tehnički muzej Zagreb

- **Horizon projekt** H2020 CheapGSHPs, nositelj je Talijanski Institut za istraživanje atmosfere i klime
- Izvedeno pilot postrojenje s geotermalnom dizalicom topline za grijanje i hlađenje izložbenog prostora Tehničkog muzeja Nikola Tesla u Zagrebu.
- Ugradnja 6 toplinskih sondi po 100 m (3 s 2U i 3 koaksijalne)



Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO2/R1234ze

Mjerenje termičkih svojstava tla

$$\lambda = 1,78 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$R_b = 0,08 \text{ (m}\cdot\text{K)/W}$$

$$g_{\text{tla}} = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

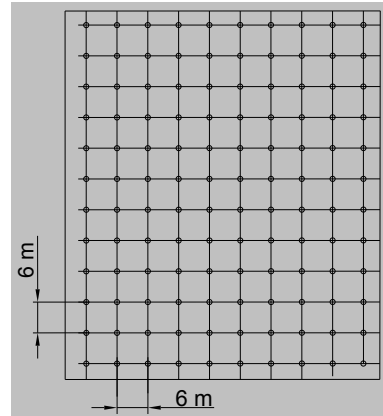
Vrijednosti dobivene mjerenjem toplinskog odziva tla:

- toplinska vodljivost tla $\lambda = 1,78 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- unutarnji otpor bušotine $R_b = 0,08 \text{ (m}\cdot\text{K)/W}$



ULAZNI PODACI ZA DIMENZINIRANJE
POLJA BUŠOTINA

$$Q_{H,nd}, Q_{C,nd}$$



25



Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO2/R1234ze

- šaht s razdjelnikom/sabirnikom



- spajanje koaksijalnog izmjenjivača



- spajanje dvostruke U cijevi

Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO₂/R1234ze

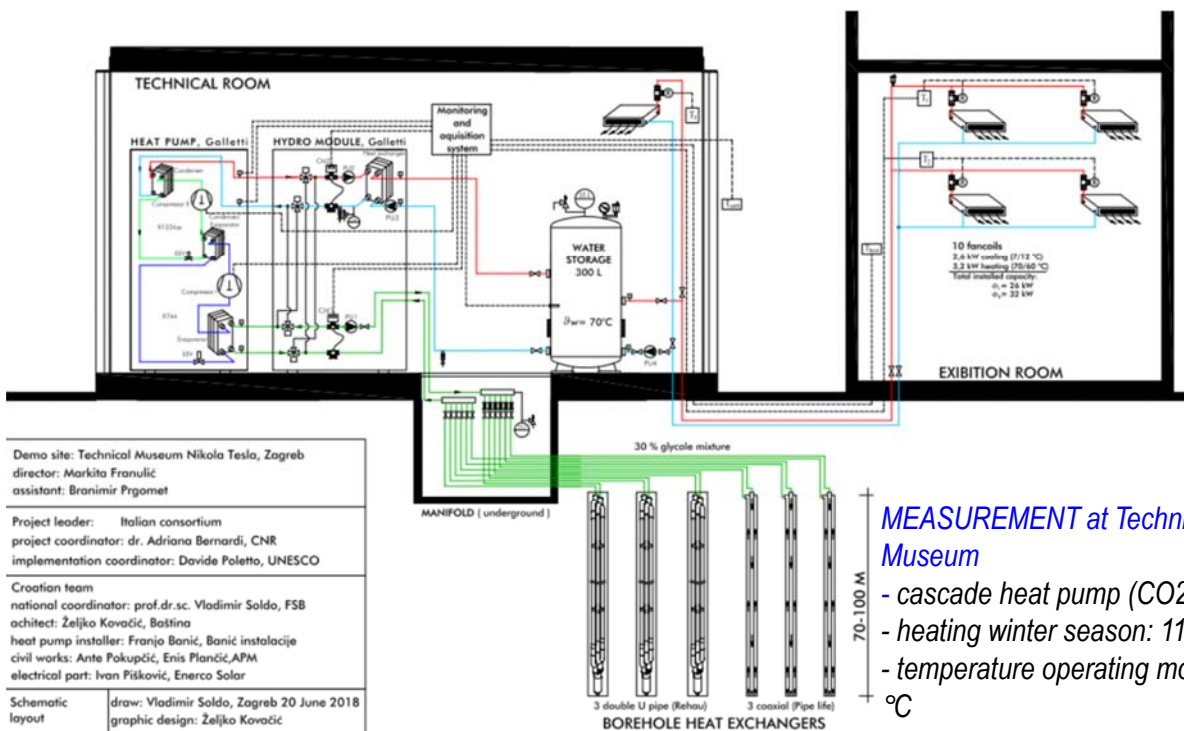
- Učinak grijanja 30 kW, učinak hlađenja 26 kW, A_k = 400 m²
- Kaskadna visokotemperaturna dizalica topline CO₂/R1234ze



28.03.2019.

Mogućnost primjene obnovljivih izvora energije, Zagreb 2019.

Pilot projekt kaskadne dizalice topline CO₂/R1234ze



Demo site: Technical Museum Nikola Tesla, Zagreb director: Markita Franulić assistant: Branimir Prgomet
Project leader: Italian consortium project coordinator: dr. Adriana Bernardi, CNR implementation coordinator: Davide Poletto, UNESCO
Croatian team national coordinator: prof.dr.sc. Vladimir Soldo, FSB architect: Željko Kovačić, Baština heat pump installer: Franjo Banić, Banić instalacije civil works: Ante Pokupčić, Enis Plančić, APM electrical part: Ivan Pišković, Enerco Solar
Schematic layout draw: Vladimir Soldo, Zagreb 20 June 2018 graphic design: Željko Kovačić

MEASUREMENT at Technical Museum

- cascade heat pump (CO₂/R1234ze)
- heating winter season: 11/18-04/19
- temperature operating mode 75/65 °C
- heating capacity: 30 kW
- SCOP ≈ 2,3
- inverter operated compressor

DIZALICE TOPLINE U INDUSTRIJI

Projekt: **Kaskadna dizalica topline za iskorištenje otpadne toplinske energije u tvornici Dukat, Zagreb**

- učinak grijanja 968 kW
- električna snaga 186 kW
- temperaturni režim 80/70 °C
- SCOP = 5,2
- radna tvar R717/R717



ZAKLJUČAK

- F-gas regulativa promovira primjenu prirodnih radnih tvari (mali GWP)
- Energetska učinkovitost rashladnih uređaja i dizalica topline u radu
- Mjerenja na izvedenim sustavima (ugradnja monitoring sustava)
- Promocija tehnologija s prirodnim radnim tvarima i OIE na različitim razinama – pouzdanost sustava
- Razmjena iskustava (Hrvatska udruga za dizalice topline – *Croatian Heat Pump Association* – www.hudit.hr)
- Objavljivanje rezultata istraživanja



Sveučilišta u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje



HVALA NA PAŽNJI!
PITANJA

Kontakt: prof.dr.sc. Vladimir Soldo
E-mail: vladimir.soldo@fsb.hr